



## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



---

# EFECTO DE LA MONENSINA SOBRE EL METABOLISMO RUMINAL EN GANADO: IMPLICACIONES PARA VACAS LECHERAS LACTANTES CON REFERENCIA A PROTEÍNA EN LA LECHE

---

**R. K. McGuffey**

PhD y MS en Nutrición de Ganado Lechero, Universidad Estatal de Michigan.  
Consejero Técnico Senior en Ganado Lechero, Centro de Salud Elanco.  
B.S. en Agricultura, Universidad del Occidente de Kentucky.  
E-mail: bernal\_eduardo\_jose@ lilly.com  
**Estados Unidos**

### Abstract

Monensin inhibits the growth of many ruminal Gram positive bacteria. Presence of monensin allows other microorganisms, especially Gram negative bacteria to grow and dominate ruminal metabolism, for example increased propionic acid production. Increased animal productivity (rate of gain, milk production and feed efficiency) is often associated with the improvement in energetics of ruminal fermentation that occurs with feeding of monensin. However, monensin has significant effects on nitrogen metabolism through its effect on specific ruminal bacteria that utilize amino acids and short peptides as an energy substrate for cellular growth. It seems logical that much of the benefit attributed to monensin in animals that have a high protein requirement might be partially explained by actions of monensin on ruminal metabolism. Indeed, increased milk protein yield is a consistent result of feeding monensin to lactating dairy cows. Recent research suggests that improvement in ruminal nitrogen metabolism resulting from monensin feeding may account for as much as 33 percent of the increase in rate of gain by growing dairy heifers.





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



### Resumen

La monensina inhibe el crecimiento de muchas bacterias ruminales Grampositivas. La presencia de monensina permite a otros microorganismos, especialmente las bacterias Gramnegativas, crecer y dominar el metabolismo ruminal, por ejemplo, una producción aumentada de ácido propiónico. El incremento en la productividad animal (rata de ganancia, producción de leche y eficiencia de alimentación) frecuentemente está asociado con el mejoramiento en la energía de la fermentación ruminal que ocurre con la alimentación de monensina. Sin embargo, la monensina tiene efectos significativos sobre el metabolismo del nitrógeno, a través de su efecto en bacterias ruminales específicas que utilizan aminoácidos y péptidos cortos como sustratos energéticos en el crecimiento celular. Parece lógico que gran parte del beneficio atribuido a la monensina en animales que tienen un alto requerimiento de proteína, pueda explicarse parcialmente por la acción de la monensina en el metabolismo ruminal. De hecho, un incremento en el rendimiento de proteína en leche es un resultado consistente de la alimentación de monensina a vacas lecheras lactantes. Investigaciones recientes sugieren que el mejoramiento en el metabolismo ruminal del nitrógeno, resultante de la alimentación de monensina, puede responder por un incremento de hasta el 33% en la rata de ganancia en novillas lecheras en crecimiento.

### Introducción

Los ionóforos han sido utilizados de manera extensa en el mundo por más de 25 años en muchos segmentos de las industrias de ganado de carne y avícolas. El ionóforo monensina fue aprobado, inicialmente, para ser usado en el control de coccidiosis en pollos. Posteriormente, la monensina obtuvo aprobación para ser usada en ganado en confinamiento, con el objetivo de mejorar la eficiencia alimenticia. Hoy en día, la monensina está aprobada para ser usada en seis clases de ganado en los Estados Unidos.

Muchos países permiten el uso de monensina en vacas lecheras lactantes. El producto está recomendado para una mayor producción de leche, para una mejor eficiencia alimenticia, para el control de cetosis subclínica y para el control de timpanismo. Los hallazgos de un estudio de nueve ensayos para la determinación de la dosis en Estados Unidos y Canadá, diseñado para la indicación de monensina para producción en vacas lecheras lactantes, fueron publicados recientemente (27). Sin embargo, hasta la fecha, la monensina y otros ionóforos no están aprobados para ser usados en vacas lecheras en los Estados Unidos.

Los ionóforos actúan sobre las bacterias y protozoos que habitan el tracto gastrointestinal de los animales. Las acciones de los ionóforos sobre los microorganismos habitantes del tracto digestivo, especialmente el rumen de ganado adulto, consisten en seleccionar





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



ciertos microorganismos a expensas de otros. En general, el metabolismo de los microorganismos seleccionados favorece al animal huésped. Los cambios en el metabolismo ruminal como resultado del suministro de monensina se muestran en la Tabla No 1.

Los beneficios obtenidos por el animal gracias a la actividad biológica de los ionóforos, fueron clasificados dentro de tres áreas de acción por Bergen y Bates (2):

1. Mayor eficiencia en el metabolismo energético de las bacterias ruminales y/o del animal.
2. Mejora en el metabolismo del nitrógeno de las bacterias ruminales y/o del animal.
3. Disminución de desórdenes digestivos producto de una fermentación ruminal anormal.

Cada beneficio proporciona una ventaja nutricional y metabólica al animal suplementado con monensina sobre un animal no suplementado. El animal transforma estos beneficios en una mayor eficiencia de producción. Por consiguiente, el ganadero recibe un beneficio económico significativo por el uso de ionóforos.

### Acción de los Ionóforos sobre bacterias ruminales

Una definición simple de un ionóforo es la de un compuesto que interviene en el movimiento de cationes a través de membranas biológicas. Células procarióticas y eucarióticas deben mantener un estrecho balance iónico intracelular y de pH para su supervivencia. Las bacterias utilizan el sistema enzimático Na/K ATPasa y Na/H ATPasa, el cual requiere de energía, para mantener tanto el balance iónico intracelular como el pH. Los ionóforos actúan afectando el movimiento de iones a través de membranas biológicas, alterando el balance intracelular normal de los iones Na, K e H.

Las bacterias ruminales, al igual que otras bacterias, se pueden clasificar como: Gram positivas o Gram negativas, y como sensibles o resistentes a la acción de los ionóforos. Al combinar las dos clasificaciones, las bacterias Gram positivas son generalmente las sensibles a los ionóforos, mientras que las bacterias Gram negativas son resistentes a los ionóforos. Al examinar los productos de fermentación producidos por bacterias sensibles y resistentes a los ionóforos, se explica las alteraciones en la fermentación ruminal que ocurren cuando los ionóforos se suministran al ganado (Tabla No 2).

Una gran diferencia entre organismos Gram positivos y Gram negativos es la estructura exterior de la pared celular. La membrana exterior de bacterias Gram negativas está compuesta por una capa de proteína, lipopolisacáridos, y lipoproteínas, y está ausente en las bacterias Gram positivas. Esta membrana exterior es impermeable a muchas





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



moléculas de gran tamaño, incluyendo la monensina, y a iones presentes en el ambiente ruminal. La ausencia de esta membrana en bacterias Gram positivas es un factor principal en determinar la sensibilidad a los ionóforos.

Russell (21) utilizó la bacteria sensible a ionóforos, Gram positiva, *Streptococcus bovis*, para explicar los eventos celulares que ocurren cuando los ionóforos están presentes en el ambiente bacteriano. La adición de monensina a cultivos en crecimiento activo resultó en la suspensión de la tasa de crecimiento dentro de 3 horas. Sin embargo, la oxidación de glucosa continuó durante 8 horas adicionales. El análisis de las células expuestas a la monensina mostró un aumento en el  $\text{Na}^+$  intracelular, y una disminución en el  $\text{K}^+$  y el pH.

Los eventos en cascada relacionados con la membrana de bacterias expuestas a ionóforos han indicado un modo de acción, generalmente aceptado, que se muestra en la Figura 1 (21). Debido a que las membranas celulares “gotear” y que el pH extracelular es generalmente más alto que el pH intracelular,  $\text{H}^+$  se mueve dentro de la célula. En la presencia de monensina estas células responden movilizándolo  $\text{K}^+$  y  $\text{H}^+$  fuera de la célula, ocasionando la hidrólisis de un ATP. Para mantener el balance catiónico, una molécula de  $\text{Na}^+$  es movilizadada dentro de la célula, bombeando  $\text{K}^+$  fuera de la célula. El resultado neto es que las bacterias sensibles a ionóforos, al exponerse a estos, deben cambiar su metabolismo para sobrevivir. Por consiguiente, estas bacterias gastan una gran proporción de su ATP en su mantenimiento, en vez de usarlo para crecimiento y reproducción. Finalmente, los organismos sensibles a la monensina mueren, y son lavados fuera del rumen por la tasa de dilución, o establecen un nicho menos importante en el ecosistema ruminal.

En forma práctica, la alteración en los patrones de fermentación ruminal, es el resultado de cambios inmediatos en las prioridades metabólicas de las bacterias Gram positivas sensibles a los ionóforos, desaparición de muchas bacterias Gram positivas sensibles a los ionóforos y un mayor número de bacterias Gram negativas resistentes a los ionóforos.

### Aumento en la eficiencia energética de bacterias ruminales

Los efectos de la monensina de una mayor eficiencia ruminal en el metabolismo energético son el producto de cambios en la tasa de producción y las proporciones molares de los ácidos grasos volátiles (AGV) (19, 20). El ácido propiónico aumenta y los ácidos acético y butírico disminuyen. La mayor producción de ácido propiónico captura más energía digestible de la materia orgánica ingerida. El balance de fermentación requiere que un aumento en la producción de propionato tiene que estar acompañado por una disminución en la producción de metano. Esta relación fue mostrada por Van Nevel y Demeyer (30), quienes reportaron una mayor producción de





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



propionato y una disminución en la metanogénesis in vitro cuando una mezcla de microorganismos ruminales fueron incubados en la presencia de monensina.

Una mejora energética en la fermentación ruminal debida a la monensina, se ilustra en el trabajo de Rogers y Davis (20). Novillos fueron alimentados con una dieta basal de 50% ensilaje de maíz y 50% concentrado con o sin monensina (33 mg/kg materia seca). El consumo de materia seca y las tasas de producción de ácidos acético, propiónico y butírico fueron medidos. El suministro de monensina aumentó la producción ruminal diaria de acetato, propionato y ácidos totales por kg de materia seca consumida en 29, 64 y 35%, respectivamente. La producción total de energía por los AGV por kg de materia seca consumida se incrementó de 852 kcal/kg de materia seca para los novillos control, a 1137 kcal/kg de materia seca para los novillos alimentados con monensina, es decir, un 33% de incremento en la energía digestible ruminal.

Spears (25) resumió los efectos de la monensina sobre la digestibilidad aparente de la energía en dietas para ganado (Tabla No 3). Los aumentos en la energía digestible promediaron cerca de 2.0 puntos porcentuales. Este aumento en la digestibilidad de la energía se compara con un 4 a 7% de mejora en la eficiencia energética de animales alimentados con monensina. Estos números indican que un efecto principal de la monensina es la alteración de los procesos energéticos de la fermentación ruminal, especialmente los productos finales de la digestión.

### Efectos de los Ionóforos en el metabolismo del nitrógeno en el rumen

La monensina tiene efectos significativos sobre el metabolismo del nitrógeno en el rumen. (Tabla No 4). Algunas de las investigaciones iniciales, caracterizando la fermentación ruminal posterior al suministro de monensina, reportaron una reducción en las concentraciones de amonio. Investigaciones para caracterizar los efectos de la monensina en el metabolismo nitrogenado, mostraron que la degradación de la proteína, la acumulación de amonio y el nitrógeno microbiano se redujeron in vitro con monensina (30,32). La acumulación de nitrógeno  $\alpha$ -amino y de péptidos sugirió, que la monensina presentó una mayor inhibición sobre la deaminación que la proteólisis. El crecimiento microbiano neto se redujo por la monensina, sin embargo, la fermentación total, medida por los productos finales de la fermentación, no fue afectada (7,13)

La monensina generalmente no ha tenido efecto sobre el nitrógeno total alcanzando el abomaso, en una variedad de dietas para ganado y fuentes de nitrógeno (7, 13, 17). Sin embargo, hubo una diferencia considerable en la forma del nitrógeno, alcanzando el abomaso. Una mayor proporción del nitrógeno llega al abomaso como nitrógeno de





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



origen dietético cuando la monensina es incluida en la dieta. La disminución relativa en el nitrógeno bacteriano se origina por una reducción significativa en la síntesis de proteína bacteriana en el rumen. La eficiencia de la síntesis de proteína bacteriana en el rumen, en términos generales, no cambió (13, 17). El flujo total al abomaso de aminoácidos esenciales y no esenciales, fue mayor cuando la monensina se suministró con proteína preformada (7, 17). La cantidad de aminoácidos alcanzando el abomaso no fue afectada por la monensina cuando la urea era la principal fuente de nitrógeno (17).

Ali Haimoud et. al. (1) reportaron una reducción en el amonio ruminal y una reducción en la degradación de la proteína dietética en vacas lecheras lactantes alimentadas con monensina. La eficiencia en la síntesis de proteína ruminal y la cantidad de proteína bacteriana, alcanzando el intestino delgado, no sufrió cambios por el suministro de monensina. El flujo total de proteína al intestino delgado fue favorecido, ya que más proteína de origen dietético alcanzó el intestino. Por lo tanto, vacas lactantes alimentadas con monensina tuvieron una mayor absorción de aminoácidos que vacas control.

Las observaciones de una menor cantidad de proteína microbiana ruminal, alcanzando el abomaso, estimularon al grupo de Russell en los 80's a investigar las acciones de la monensina sobre bacterias conocidas por su preferencia de utilizar proteína como sustrato energético en el ecosistema ruminal. Los cambios en el metabolismo nitrogenado total, debidos al suministro de monensina, no se pudieron responsabilizar cuantitativamente con el conocimiento existente de la actividad bacteriana ruminal. Por ejemplo, las bacterias ruminales con la mayor producción de amonio a partir de proteína eran Gram negativas y produjeron únicamente 75 a 80% del amonio producido por una mezcla de bacterias ruminales.

Russell teorizó que deben existir dentro del rumen ciertas cepas de bacterias que tienen altas tasas específicas de producción de amonio. Usando técnicas clásicas de aislamiento, Russell et. al. (23) fueron capaces de identificar dos nuevas bacterias que tenían 18 a 39 veces más habilidad de producir amonio que las especies anteriormente conocidas. Estas bacterias fueron identificadas como especies de *Peptostreptococcus* y de *Clostridium*, ambos eran organismos Gram positivos, requirieron de una fuente de aminoácidos para su crecimiento y fueron sensibles a la monensina. La caracterización de estas dos bacterias, más una tercera especie de *Clostridium* se detalla en (15).

Usando mezclas de bacterias ruminales in vitro, Chen y Russell (3) fueron capaces de demostrar que la monensina tenía muy poco efecto sobre la proteólisis ruminal, pero que causaba una reducción en la producción de amonio. Estos trabajadores demostraron que la reducción en amonio, en presencia de monensina, se presentaba por una acumulación de compuestos nitrogenados en la forma de nitrógeno no amoniacal no





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



protéico (péptidos y aminoácidos). En un estudio subsiguiente usando vacas Holstein, Yang y Russell (33, 34) demostraron que la disminución en amonio ruminal, debido a la monensina, estaba asociada con una disminución de 10 veces las bacterias ruminales que usan aminoácidos y péptidos como fuente de energía para crecimiento.

Spears (25) resumió los efectos de la monensina sobre la digestibilidad aparente del nitrógeno en ganado (Tabla No 3). Los aumentos en la digestibilidad del nitrógeno promediaron cerca de 3.5 puntos porcentuales en ganado. En la mayoría de los estudios, el nitrógeno retenido como un porcentaje del consumo de nitrógeno o como un porcentaje del nitrógeno absorbido se incrementa con los ionóforos (14,17). Una mayor proporción de la proteína de las plantas con respecto a la proteína microbiana alcanzando el abomaso, puede explicar la mayor absorción y retención de nitrógeno con el suministro de ionóforos, debido a la mayor digestibilidad, típica de la proteína de las plantas.

Efecto de la monensina sobre producción de leche: Volumen y componentes.

### Aspectos generales de la monensina para vacas lactantes

Los beneficios de aumentar la cantidad de proteína o de aminoácidos que lleguen al intestino delgado de vacas lecheras, altas productoras, son reconocidos. La menor producción de amonio, a partir de aminoácidos en el rumen, debida a los ionóforos, puede mejorar la nutrición protéica de la vaca y aumentar la productividad o mejorar la fertilidad. Por otro lado, este efecto de ahorro de proteína de los ionóforos, puede permitirle al ganadero disminuir el contenido de proteína cruda de la dieta o usar menos fuentes de proteína costosas en la formulación de la ración. Ambas alternativas reducirían el potencial de contaminación nitrogenada de los desechos de las vacas, y por lo tanto serían de beneficio para el medio ambiente.

Los reportes iniciales sobre los efectos de la monensina en vacas lecheras lactantes se dirigieron a vacas en lactancia temprana con alto riesgo de cetosis (24). En reportes posteriores, las vacas que han recibido monensina han mostrado una reducción en sangre de beta hidroxibutirato y de ácidos grasos no esterificados, y un incremento en glucosa sanguínea (18, 26, 28). Se ha reportado que la urea sanguínea se ha elevado (5, 8), no ha cambiado (18, 26) o ha disminuido (18). En el estudio de Ramanzin et. al. (18), la urea sérica se redujo en vacas lactantes cuando recibieron una dieta con 70% de forraje, pero no con una dieta del 50% de forraje.

Estudios con monensina durante la lactancia han mostrado diferentes tipos de repuestas, indicando una mejora en el estado energético de la vaca lechera lactante (Tabla No 5). Han sido reportadas producción de leche, reducción en enfermedades del periparto tales





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



como cetosis y desplazamiento de abomaso, mejoría en eficiencia alimenticia y en condición corporal. Mi hipótesis sobre el tipo de respuesta que se debe esperar de la monensina está relacionada con la energía de la dieta en relación con las necesidades del animal por calorías, lo cual es análogo a la regulación del consumo de alimento en ganado propuesto por Conrad et. al. (4). El suministro de monensina producirá una respuesta en producción de leche en aquellas dietas donde el consumo de energía está limitado por la digestibilidad (típicamente dietas altas en forrajes) o capacidad ruminal (lactancia temprana). Cuando el consumo de energía no es un factor limitante para la producción de leche, como sí lo es posterior al pico de la lactancia. Las respuestas más probables son la eficiencia alimenticia y una mejora en la condición corporal.

La producción de leche se incrementó en ganado en pastoreo en Nueva Zelanda (9, 11) y Australia (10, 31), y en ganado confinado en Holanda (29), el Reino Unido (16) y Canadá (6). En todos los trabajos, excepto el de (10, 31) las vacas estaban en lactancia temprana. Las vacas en (9, 10, 11) estaban pastoreando con una suplementación mínima o sin suplementación de concentrado, por lo cual el consumo de energía estaba probablemente limitando la producción de las vacas. El aumento en la producción de leche debido al suministro de monensina tuvo un rango de 0.5 a 2.8 litros/día.

La eficiencia alimenticia se define de muchas maneras. Relaciones tales como producción de leche/consumo de materia seca y energía neta en la leche/consumo neto de energía con o sin la corrección por el cambio en el peso corporal, se utilizan como medidas de eficiencia de la producción. Sin importar cual sea la definición empleada, los mejoramientos en la eficiencia son la clave para mejorar el retorno económico de la producción de leche. En un estudio realizado en nueve lugares de los Estados Unidos y Canadá (27) empleando 858 animales, o en un lugar de México (12) usando 667 animales, la eficiencia en la producción de leche se mejoró 3.6 y 7.0%, respectivamente. En ambos estudios las vacas fueron alimentadas con dietas altas en energía (>1,7 Mcal/kg) durante toda o una parte significativa de la lactancia. El patrón en el cambio del puntaje de condición corporal durante la lactancia fue similar en los dos estudios. Las vacas alimentadas con dietas de monensina perdieron menos condición corporal en la lactancia temprana que las control, y recuperaron su condición corporal a una tasa más rápida en la mitad y al final de la lactancia. Durante la recuperación de condición corporal, el consumo de materia seca de las vacas que recibieron monensina disminuyó en comparación con las control, sin comprometer la producción de leche.

La grasa y la proteína en la leche se afectan con el suministro de monensina. En la mayoría de los estudios, el porcentaje de grasa en leche disminuye cuando la monensina se incluye en la dieta de vacas lecheras. El descenso en el porcentaje de grasa en





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



leche es posiblemente mayor cuando la monensina se suministra en combinación con otros factores que tienden también a disminuir el porcentaje de grasa en leche (Figura 2). Dietas con mínima fibra efectiva, altas en carbohidratos no estructurales rápidamente fermentables y en las que se suministra los forrajes y los concentrados por separado, parecen favorecer el descenso en el porcentaje de grasa en leche asociado con la monensina. La alimentación con raciones completas, con las fracciones de carbohidratos debidamente balanceados y de manera frecuente durante el día, parece que minimiza la disminución en el porcentaje de grasa en leche. La producción de grasa es igual o menor en comparación con animales control – el grado de reducción depende de la combinación de estos otros factores que se sabe que afectan el porcentaje de grasa en leche.

Los efectos de la monensina sobre el metabolismo del nitrógeno en el rumen, parecería que promovieran aumentos favorables en la secreción de proteína en la leche en vacas lactantes. Una mayor absorción de aminoácidos, una mayor retención del nitrógeno absorbido y un aumento en la producción de propionato para preservar el carbono de los aminoácidos de la gluconeogénesis, podría teóricamente brindar una ventaja a las vacas alimentadas con monensina. Adicionalmente, el porcentaje de proteína en leche y la producción de proteína, usualmente se incrementan cuando la digestión ruminal de la proteína de la dieta se reduce.

### Estudios específicos con monensina en vacas lactantes

Se han publicado algunos estudios en los 90's, que demuestran los efectos benéficos de la monensina en el desempeño de la lactancia. Un resumen de producciones de leche, grasa y proteína de estos trabajos se presenta en la Tabla No 5. El resumen contiene el desempeño de casi 4.000 vacas. Los trabajos han sido realizados en Australia y Nueva Zelandia con ganado lechero en pastoreo, y en Norteamérica y Europa con ganado alimentado en confinamiento. En estos estudios la monensina fue suministrada a la vaca, incorporando un suplemento con monensina en la dieta, o mediante una cápsula de liberación controlada (CLC) diseñada para proporcionar aproximadamente 300 mg de monensina diariamente durante 100 días. Los resultados sobre la suplementación en la dieta se presentan para monensina a 300 mg/día o 16 a 20 mg/kg de materia seca. El control del timpanismo en ganado en pastoreo, y el control de cetosis durante la lactancia temprana fueron los objetivos principales en los estudios con la CLC.

En tres estudios con ganado en pastoreo (9, 10, 11), la administración de la CLC resultó en un mayor volumen de leche ( $P < 0.05$ ) y mayor producción de proteína ( $P < 0.05$ ) que las vacas sin recibir una CLC. La producción de grasa no cambió, aunque el porcentaje de grasa en leche fue menor con monensina. En (31), las producciones de leche aumentaron numéricamente en el ganado que consumió un suplemento contenido de monensina,





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



mientras pastorearon forrajes tropicales durante los meses de verano ( $P > 0.05$ ) y mientras pastorearon una rotación de Kikuyo-ryegrass en los meses de invierno ( $P > 0.05$ ). Las producciones de proteína láctea fueron mayores ( $P < 0.05$ ) durante los períodos de pastoreo tanto del verano como del invierno, mientras que las producciones de grasa no fueron diferentes.

Un estudio en Canadá utilizó la CLC para suministrar monensina a vacas, comenzando cerca de tres semanas antes del parto con el objetivo de intentar reducir la incidencia y severidad de cetosis (5, 6, 9). El estudio, llevado a cabo en 25 hatos lecheros, mostró que la cetosis y otros problemas de salud que prevalecen durante el período de transición se redujeron con la monensina. La producción de leche fue mayor ( $P < 0.05$ ) en vacas excesivamente gordas (puntaje de condición corporal (PCC)  $\geq 4.0$ ) recibiendo la CLC. Vacas con condiciones intermedias (PCC  $\geq 3.25$  y  $\leq 3.75$ ) tuvieron mayor ( $P < 0.05$ ) producción de leche al segundo mes, de acuerdo al control lechero, que vacas control, mientras que la producción de leche de vacas delgadas (PCC  $\leq 3.00$ ) no fue afectada por la monensina. Los porcentajes de grasa y proteína en leche no fueron afectados por la monensina.

En los estudios de Norteamérica (12, 27), las producciones de leche y de leche corregida por sólidos de vacas alimentadas con monensina (8 a 24 mg/kg de materia seca) no fueron diferentes del control. El porcentaje de grasa en leche fue menor en el estudio con 9 ensayos (27) pero fue igual en el estudio a gran escala (12). En México, las vacas fueron alimentadas hasta 14 veces al día. El porcentaje de proteína en leche se redujo (3.16 contra 3.12;  $P < 0.05$ ) a la dosis más alta de monensina (24 pum) con respecto al control en los estudios de Estados Unidos y Canadá (27), pero fue similar (3.04 contra 3.02) en el estudio de México. En los estudios de Estados Unidos y Canadá, la alimentación con monensina produjo un incremento lineal significativo en la relación proteína en leche/grasa en leche, que beneficiaría a la leche para producir quesos.

### Resumen y recomendaciones

La monensina mejora las calidades nutricionales de la mayoría de las raciones. Las modificaciones que se presentan en el rumen con la monensina son más dramáticas sobre el metabolismo energético. No es irrazonable predecir que la monensina proporciona más energía que cualquier ración, debido a su efecto general sobre las bacterias ruminales y sobre la producción de ácidos grasos volátiles, además porque los componentes energéticos fermentables constituyen un porcentaje tan alto de la dieta.

Los efectos de la monensina son menos dramáticos sobre el metabolismo del nitrógeno, que sobre el metabolismo energético. Sin embargo, la monensina tiene un potencial





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



real en el futuro para mejorar consistentemente la secreción de proteína de la leche, que ha sido demostrada hasta la fecha. Las vacas alimentadas con monensina generalmente tuvieron una mayor producción de proteína de la leche, que vacas control. Adicionalmente, la eficiencia en la producción de proteína láctea (producción de proteína en leche como porcentaje de la proteína consumida de la dieta) se incrementó por el suministro de monensina, en aquellos estudios que midieron el consumo de proteína. De igual manera, el consumo de proteína de la dieta de vacas alimentadas con monensina se redujo porque el consumo de materia seca disminuyó significativamente en las vacas que recibieron monensina. Un efecto importante de la monensina en el rumen, es el de aumentar la proporción de proteína de la dieta que alcanza el intestino delgado. Por lo tanto, parecería que la forma de la proteína en las dietas suministradas a vacas lactantes que recibían monensina necesita un especial cuidado. La investigación en esta área debería producir una mejor eficiencia de la proteína de la leche y minimizar preocupaciones ambientales sobre contaminación nitrogenada.

Empleando el conocimiento existente sobre los factores en la dieta que afectan la proteína láctea, podemos hacer algunas recomendaciones para la alimentación de vacas lecheras que están recibiendo monensina.

- Proporcionar cantidades adecuadas de carbohidratos rápidamente fermentables para estimular la síntesis microbiana en el rumen. La secreción de proteína en la leche sufre rápidamente por una escasez de energía fermentable en el rumen, debido a que el nitrógeno microbiano total que alcanza el intestino delgado se reduce con la monensina. Se deben asegurar los carbohidratos rápidamente fermentables en la dieta para maximizar el componente microbiano de la proteína total que se suministra al tracto inferior. Esto es especialmente crítico para ganado que pastorea forrajes con altos contenidos de formas solubles de nitrógeno, pero inherentemente bajos en energía, en relación con los requerimientos de las bacterias y del animal.
- Reconocer la importancia de la composición de aminoácidos de las proteínas de las plantas. Con una mayor proporción de la proteína de la dieta que alcance el tracto inferior, se requiere considerar la composición de aminoácidos de la proteína en la misma. Por ejemplo, un concentrado con una alta proporción de productos de maíz como fuentes de nitrógeno, puede convertirse rápidamente en un limitante en lisina. Utilice una combinación de fuentes de proteína vegetales y considere suplementos tales como harina de pescado al formular un concentrado, para minimizar un desbalance de aminoácidos.
- Monitoree el consumo de materia seca, especialmente en vacas recién paridas. Obtener altos niveles en el consumo de materia seca, rápidamente, después del parto es la única forma de alcanzar una alta producción de leche durante la lactancia temprana y de que se mantenga durante el curso de la lactancia.





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



**Tabla No1.**

### **Cambios en el metabolismo ruminal como resultado de la alimentación con monensina**

Aumento del ácido propiónico
Disminución de los ácidos acético y butírico
Disminución del metano
Disminución del ácido láctico
Disminución del amonio
Disminución de la producción de gas
Disminución del 3 metil indol

**Tabla No 2.**

### **Tinción de Gram, sensibilidad de la monensina y productos finales de fermentación de bacterias rumiales**

GRAM POSITIVAS	
Sensibles a Monensina	Productos de Fermentación
Ruminococcus	Acetato
Lachnospira	Acetato
Fibrobacter	Acetato
Butyrivibrio	Acetato, butirato
Methanobacterium	Acetato, metano
Methanosarcina	Metano
Streptococcus	Lactato
Lactobacillus	Lactato
Peptostrep-tococcus	Amonio
Clostridium	Amonio

GRAM NEGATIVAS	
Insensibles a Monensina Fermentación	Productos de
Selenomonas	Propionato
Bacteroides Propionato	Acetato,
Megasphaera Acetato	Propionato,
Veillonella	Propionato
Succinimonas	Succinato
Succinivibrio	Succinato





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



**Tabla No 3.**  
**Efecto de la monensina sobre la digestibilidad de la energía y del nitrógeno en ganado**

Digestibilidad de	Control	Monensina	Rango <sup>1</sup>
Energía (n=17) <sup>2</sup>	70.3	72.4	-0.9 to 9.2
Nitrógeno (n=15) <sup>2,3</sup>	62.2	65.7	0.3 to 8.0

1. Rango en unidades porcentuales de cambio en digestibilidad debido a la monensina.

2. Número de comparaciones.

3. Promedios diferentes, (P<0.01).

FUENTE: Spears, J. *Nutrition* 120:632. 1990.

**Tabla No 4.**  
**Cambios en el metabolismo del nitrógeno en ganado alimentado con monensina**

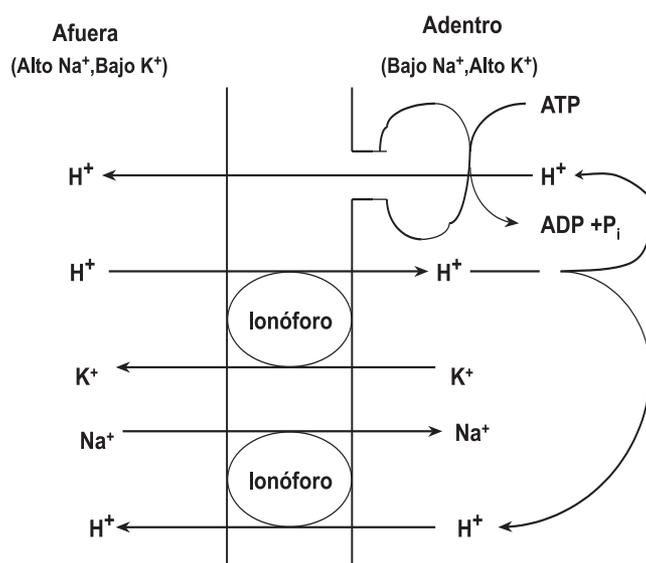
Medida de metabolismo del nitrógeno	Efecto de Monensina <sup>1</sup>
<b>Rumen</b>	
Amonio	- - -
Proteólisis	-
Deaminación	- - -
Síntesis de proteína microbial	- -
Degradación del N de la dieta	- -
<b>Flujo al intestino delgado</b>	-----
Proteína total	NC a -
N de dieta/N Microbial	-
Aminoácidos	- - -
<b>Digestibilidad</b>	- -
<b>Retención de nitrógeno</b>	-----
Total	- -
% del absorbido	- -



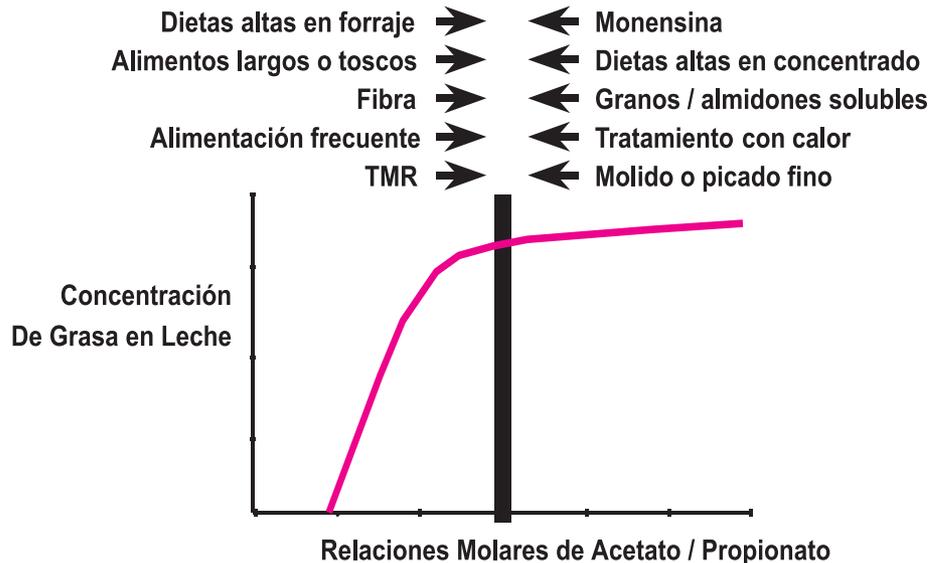
**Tabla No 5.**  
**Producciones de leche, grasa y proteína de vacas recibiendo monensina.**

Autor	Monensina <sup>1</sup>	Alimentación	Leche, kg/d		Grasa, kg/d		Proteína, kg/d	
			Control	Monensina	Control	Monensina	Control	Monensina
Lynch, et. al. (11) Nueva Zelanda	CLC	Pastura de Ryegrass/trébol	13,2	14,3	0,65	0,64	0,47	0,51
Walker, et. al. (31) Australia	CLC	Pastura pasto /leguminosa verano	13,3	13,9	0,50	0,52	0,40	0,44
		Pastura Ryegrass invierno	18,1	19,65	0,66	0,67	0,54	0,58
Lowe, et. al. (10) Australia	CLC	Pasturas de trébol en 6 sitios	17,7	18,8	0,76	0,77	0,55	0,58
Hayes, et. al (9) Nueva Zelanda	CLC	Pastura de primavera	17,7	19,1	0,77	0,79	0,61	0,64
Duffield, et. al. (6) Canadá	CLC	En confinamiento en 25 lugares	Flaca 34.5	Flaca 32.9	No reportado <sup>2</sup>	No reportado <sup>2</sup>	No reportado <sup>2</sup>	No reportado <sup>2</sup>
			Mediana Gorda 34.3	Mediana Gorda 36.1				
Van der Werf, et. al (28) Holanda	Premezcla	Trabajo 1 - TMR 50% conc, 30% silo pasto, 20% silo maíz Trabajo 2 -F & C por separado	35,3	36,5	1,60	1,57	1,14	1,18
			27,2	29,1	1,27	1,31	0,97	1,03
Phipps, et. al. (16) Reino Unido	Premezcla	Trabajo 1 Silo de pasto y maíz en TMR Trabajo 2. 1a. Lact Ver Trabajo 1 Trabajo 2. 2a. Lact Ver Trabajo 1	25,0	27,5	0,97	0,93	0,85	0,90
			21,4	22,2	0,95	0,90	0,78	0,78
			27,2	28,3	1,20	1,18	0,95	0,97
McGuffey y Giner (12) México	Premezcla	Silo de maíz/ alfalfa TMR 50:50 F:C	40,4	40,8	1,33	1,39	1,23	1,23
Symanowski, et. al. (26) Estados Unidos y Canadá	Premezcla	TMR en 9 lugares. Supl. Monensina como 5% de MS	29,3	30,2	1,06	1,04	0,92	0,94

**Figura No 1.**  
**Modo de acción de los ionóforos en bacterias Gram Positivas**



**Figura No 2.**  
**Relación entre factores que afectan el porcentaje de grasa en la leche y las relaciones molares de acetato a propionato**



### Referencias

- (1) ALI HAIMOUD, D., M. VERNAY, C. BAYOURTHE, Y R. MONCOULON. 1995. Avoparcin and monensin effects on the digestion of nutrients in dairy cows fed a mixed diet. *Can. J. Anim. Sci.* 75:379.
- (2) BERGEN W. G. Y D. B. BATES. 1984. Ionophores: Their effect on production efficiency and mode of action. *J. Anim. Sci.* 58:1465.
- (3) CHEN G. C., Y J. B. RUSSELL. 1991. Effect of monensin and a protonophore on protein degradation, peptide accumulation and deamination by mixed ruminal microorganisms in vitro. *J. Anim. Sci.* 69:2196.
- (4) CONRAD, H. R., A. D. PRATT, Y J. W. HIBBS. 1964. Regulation of feed intake in dairy cows. I. Changes in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. *J. Dairy Sci.* 47:54.
- (5) DUFFIELD, T. F., D. SANDALS, K. E. LESLIE, K. LISSEMORE, B. W. MCBRIDE, J. H. LUMSDEN, P. DICK, Y R. BAGG. 1998. Effect of prepartum administration of monensin in a controlled-release capsule on postpartum energy indicators in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81:2354.





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



- (6) DUFFIELD, T. F., K. E. LESLIE, D. SANDALS, K. LISSEMORE, B. W. MCBRIDE, J. H. LUMSDEN, P. DICK, Y R. BAGG. 1999. Effect of prepartum administration of monensin in a controlled-release capsule on milk production and milk components in early lactation. *J. Dairy Sci.* 82:272.
- (7) FAULKNER, D. B., T. J. KLOPFENSTEIN, T. N. TROTTER, Y R. A. BRITTON. 1985. Monensin effects on digestibility, ruminal protein escape and microbial protein synthesis on high fiber diets. *J. Anim. Sci.* 61:654.
- (8) GREEN, B. L., B. W. MCBRIDE, D. SANDALS, K.E. LESLIE, R. BAGG, Y P. DICK. 1999. The impact of monensin controlled release capsule on subclinical ketosis in the transition dairy cow. *J. Dairy Sci.* 82:333.
- (9) HAYES, D. P., D. V. PFEIFFER, Y N. B. WILLIAMSON. 1996. Effect of intraruminal monensin capsules on reproductive performance and milk production of dairy cows fed pasture. *J. Dairy Sci.* 79:1000.
- (10) LOWE, L.B., G. J. BALL, V. R. CARRUTHERS, R. C. DOBOS, G. A. LYNCH, P. J. MOATE, P. R. POOLE, Y S. C. VALENTINE. 1991. Monensin controlled-release intraruminal capsule for control of bloat in pastured dairy cows. *Aust. Vet. J.* 68:17.
- (11) LYNCH, G. A., M. E. HUNT, Y S. N. MCCUTCHEON. 1990. A note on the effect of monensin sodium administered by intraruminal controlled release devices on productivity of dairy cows at pasture. *Anim. Prod.* 51:418.
- (12) MCGUFFEY, R. K., Y B. GINER-CHAVEZ. 1998. Lactation performance of dairy cows receiving monensin and a sustained release formulation of methionyl bovine somatotropin. *J. Dairy Sci.* 81(Suppl 1):261.
- (13) MUNTIFERING, R. B., B. THEURER, Y T. H. NOON. 1981. Effects of monensin on site and extent of whole corn digestion and bacterial protein synthesis in beef steers. *J. Anim. Sci.* 53:1565.
- (14) MUNTIFERING, R. B., B. THEURER, R. S. SWINGLE, Y W. H. HALE. 1980. Effect of monensin on nitrogen utilization and digestibility of concentrate diets by steers. *J. Anim. Sci.* 50:930.
- (15) PASTER, B. J., J. B. RUSSELL, C.M. J. YANG, J. M. CHOW, C. R. WOESE, Y R. TANNER. 1993. Phylogeny of the ammonia-producing ruminal bacteria *Peptostreptococcus anaerobius*, *Clostridium sticklandii*, and *Clostridium aminophillum* sp. nov. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 43:107.





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



- (16) PHIPPS, R. H., J. I.D. WILKINSON, L. J. JONKER, Y M. E. TARRANT. 1999. Effect of monensin on milk production of Holstein-Fresian dairy cows. *J. Dairy Sci.* (submitted).
- (17) POOS, M. I., T. L. HANSON, Y T. J. KLOPFENSTEIN. 1979. Monensin effects on diet digestibility, ruminal protein bypass and microbial protein synthesis. *J. Anim. Sci.* 48:1516.
- (18) RAMANZIN, M., L. BAILONI, S. SCHIAVON, Y G. BITTANTE. 1997. Effect of monensin on milk production efficiency of dairy cows fed two diets differing in forage to concentrate ratios. *J. Dairy Sci.* 80:1136.
- (19) RICHARDSON, L. F., A. P. RAUN, E. L. POTTER, C. O. COOLEY, Y R. P. RATHMACHER. 1976. Effects of monensin on rumen fermentation in vitro and in vivo. *J. Anim. Sci.* 43:657.
- (20) ROGERS, J. A., Y C. L. DAVIS. 1982. Rumen volatile fatty acid production and nutrient utilization in steers fed a diet supplemented with sodium bicarbonate and monensin. *J. Dairy Sci.* 65:944.
- (21) RUSSELL, J. B., 1987. A proposed mechanism of monensin action in inhibiting ruminal bacterial growth: Effects on ion flux and protonmotive force. *J. Anim. Sci.*64:1519
- (22) RUSSELL, J. B., H. J. STROBEL, Y G. CHEN. 1988. Enrichment and isolation of a ruminal bacterium with a very high specific activity of ammonia production. *Appl. Environ. Microbiol.* 54:872.
- (23) SAUER, F. D., J. K. G. KRAMER, Y W. J. CANTWELL. 1989. Antiketogenic action of monensin in early lactation. *J. Dairy Sci.* 72:436.
- (24) SPEARS, J. W., 1990. Ionophores and nutrient digestion and absorption in ruminants. *J. Nutr.* 120:632.
- (25) STEPHENSON, K. A., I. J. LEAN, M. L. HYDE, M. A. CURTIS, J. K. GAVIN, Y L. B. LOWE. 1997. Effects of monensin on the metabolism of periparturient dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80:830.
- (26) SYMANOWSKI, J. T., H. B. GREEN, J. R. WAGNER, J.I.D. WILKINSON, J. S. DAVIS, M. R. HIMSTEDT, M. S. ALLEN, E. BLOCK, J. J. BRENNAN, H. H. HEAD, J. J. KENNELLY, J. N. NIELSEN, J. E. NOCEK, J. J. VAN DER LIST Y L. W. WHITLOW. 1999. Milk production and efficiency of cows fed monensin. *J. Dairy Sci.* 82 (Suppl 1):75.





## II Seminario Internacional sobre Calidad de Leche Competitividad y Proteína



- (27) THOMAS, E. E., S. E. POE, R. K. MCGUFFEY, D. H. MOWREY, Y R. D. ALLRICH. 1993. Effects of feeding monensin to dairy cows on milk production and serum metabolites during early lactation. *J. Dairy Sci.* 76:280 (Suppl 1).
- (28) VAN DER WERF, J. H. J., L. J. JONKERS, Y J. K. OLDENBROEK. 1998. Effect of monensin on milk production by Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 81:427.
- (29) VAN NEVEL, C. J. Y I. DEMEYER. 1977. Effect of monensin on rumen metabolism in vitro. *Appl. Environ. Mico.* 34:251.
- (30) WALKER, R. G., L. B. LOWE, R. I. KNIGHT, Y T. M. DAVIDSON. 1996. The effect of feeding monensin on the milk yield and composition of dairy cows. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 21:289.
- (31) WHETSTONE, H. D., C. L. DAVIS, Y M. P. BRYANT. 1981. Effect of monensin on breakdown of protein by ruminal microorganisms in vitro. *J. Anim. Sci.* 53:803.
- (32) YANG, C. M. J. YANG Y J. B. RUSSELL. 1993. Effect of monensin on the specific activity of ammonia production by ruminal bacteria and disappearance of amino nitrogen from the rumen. *Appl. Environ. Microbiol.* 59:3250.
- (33) YANG, C.M. J. Y J. B. RUSSELL. 1993. The effect of monensin supplementation on ruminal ammonia accumulation in vivo and the number of amino acid-fermenting bacteria. *J. Anim. Sci.* 71:3470.

